

東濃鉾山における調査試験研究  
年度計画書（2002年度）

（技術報告）

2002年4月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松 4 番地 49

核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2002

## 目次

1	はじめに	1
2	ナチュラルアナログ研究	2
2.1	背景と目標	2
2.2	2001年度までの研究成果の概要	2
2.3	2002年度の研究計画	4
3	岩盤の力学的安定性に関する試験研究	5
3.1	背景と目標	5
3.2	2001年度までの試験研究成果の概要	5
3.3	2002年度の試験研究計画	7
4	坑道周辺の地質環境に関する調査研究	8
4.1	背景と目標	8
4.2	2001年度までの調査研究成果の概要	8
4.3	2002年度の調査研究計画	9
5	2002年度の調査試験研究のスケジュール	10
	参考文献	11



## 1 はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構）東濃地科学センターは、岐阜県土岐市に所有する東濃鉦山とその周辺域において、主として地表から深度約 150m までに分布する新第三紀堆積岩を対象とした様々な調査・試験・研究に加え、調査・解析技術ならびに機器の開発（以下、「東濃鉦山における調査試験研究」）を地層科学研究の一環として進めてきている。これらの調査・研究は、「東濃鉦山における調査試験研究基本計画（2002年4月）」（サイクル機構，2002a）に基づき、

- ・ウラン鉦床が存在し、それを断層が横切るという地質学的特徴を活かして、堆積岩中における物質の長期的な移行・遅延挙動を評価すること
- ・坑道周辺における地質環境の長期的な変化を評価し、総合的に調査・評価するための技術を開発すること

を目標として実施しており、その調査試験研究の項目は以下のとおりである。

- ①ナチュラルアナログ研究
- ②岩盤の力学的安定性に関する試験研究
- ③坑道周辺の地質環境に関する調査研究

このうち、「ナチュラルアナログ研究」については、2001年度までの「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」（サイクル機構，1999a）を統合し、1～10万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に主眼を置いた調査・研究として本年度より開始するものである。

本調査試験研究において得られる成果のうち、とくに地質環境中における物質の長期的な移行・遅延挙動に関する知見は「地層処分システムの長期挙動の理解」の観点から、安全評価手法の整備・高度化に反映される。また、坑道からの調査・モニタリング技術、地質環境特性のモデル化・評価手法や断層を対象とした年代測定技術などは「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」に反映されるほか、新第三紀堆積岩を対象とした幌延深地層研究計画を進めるうえでの技術基盤としても活用される。さらに、ナチュラルアナログ研究の成果は、地層処分の長期的な安全性についての国民の理解を得ていくために重要な意義をもつ。また、深部地質環境の特性やそこで生じる現象に関する知見は、地下深部についての学術的研究などにも寄与するものである。

本計画書は、「東濃鉦山における調査試験研究基本計画（2002年4月）」に基づき、2002年度に実施する調査試験研究計画の詳細を示すものである。

## 2 ナチュラルアナログ研究

### 2.1 背景と目標

東濃ウラン鉱床を事例研究の場として、地質環境下で実際に生じた現象とその場の特性を定量的に把握することにより、地質環境が本来有している、物質の移行を遅延させ長期的に保存する性能の評価が可能となる。これまでの「東濃鉱山における調査試験研究」(サイクル機構, 1999a)では、「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」を実施し、おもに現在の地質環境特性や物質の移行・遅延現象についての知見を得てきた。

地層処分システムの長期的な安全評価の信頼性をさらに向上させるためには、これらの知見に加えて、1~10万年といった長期的な時間スケールで生じる地質学的事象や地質環境の変化に伴う物質の移行・遅延挙動についての知見を得ることが必要である。また、物質の移行・遅延挙動に影響を及ぼす要因を評価するとともに、定量的な情報を取得することも重要である。

本研究では、2001年度まで実施してきた「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」を統合し、新たに以下の目標を設定し調査・研究を進めることとする。

- ・地質環境の変遷がウラン鉱床の長期にわたる保存に及ぼした影響の評価ならびにモデル化
- ・ウラン系列核種の移行・遅延特性の定量化および影響を及ぼす要因の評価
- ・異なる地質環境にも適用できる体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備

### 2.2 2001年度までの研究成果の概要

2001年度までの「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」は、図1に示すように、東濃鉱山坑道内および坑道から掘削した試験錐孔において実施してきた。以下に、それらの調査試験研究の成果(サイクル機構, 2001a, 2001b, 2002b)の概要を示す。

#### ・「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」

調査坑道内における地下水の水質連続モニタリングおよびウランを含む堆積岩試料の化学分析を継続し、地下水および岩石の地球化学データセットの拡充を図った。また、岩石・鉱物の収着特性に関するデータセットも作成した。ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼした影響要因については、微生物および有機物に関する研究を行い、地下水中に生息する微生物の種類(硝酸・亜硝酸還元菌、鉄関連菌、硫酸還元菌など)と存在量、堆積岩中の還元環境形成への微生物の寄与、地下水中のフミン酸/フルボ酸の起源と微量元素の移行・遅延への影響などについての知見を得るとともに、微生物研究用の岩石試料の採取・調製手法を開発した。さらに、東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境について、酸化還元フロントの移動速度は極めて遅く、堆積岩が十分な還元緩衝能力を維持していることを解析的に示した。

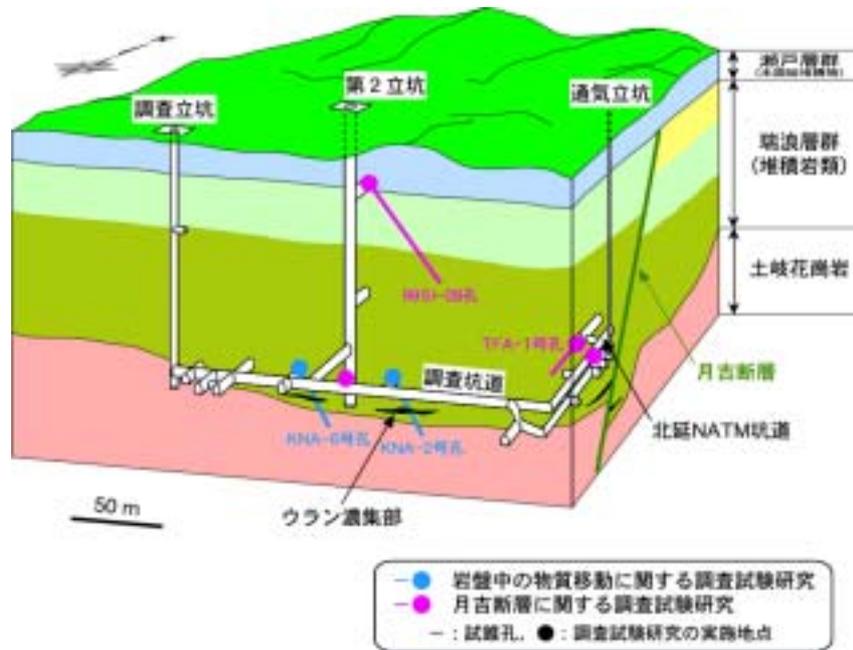


図1 東濃鉱山における「岩盤中の物質移動に関する調査試験研究」および「月吉断層に関する調査試験研究」の実施領域

#### ・「月吉断層に関する調査試験研究」

月吉断層の分布や地質学的特性、形成プロセス、水理的・地球化学的な影響などに関する調査・研究を実施し、その地質学的性状を総合的に取りまとめた。

堆積岩中の月吉断層は少なくとも2条の断層からなり、断層沿いに幅十数m～20m程度の破碎帯を両側に伴い、湾曲しながら連続していると推定される。また、月吉断層は逆断層系の変形作用とそれに引き続く局所的な正断層系の変形作用（再動）によって形成されたと考えられ、それらの断層活動時には断層面に沿って熱水が循環した可能性が高いと考えられる。さらに、断層面はそれと直交方向の地下水流動に対して遮水面となっているが、月吉断層に付随する破碎帯は現在まで主要な水みちとして機能してきており、過去に基盤花崗岩から堆積岩に向かう地下水流動が生じていたことが推測される。

断層活動年代の調査技術については、断層のみならず周囲の地質・地質構造を対象とした地質学的調査と、既存の複数の手法による年代測定との組み合わせの必要性が確認された。

## 2.3 2002 年度の研究計画

本研究を開始する 2002 年度は、「東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境」および「ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因」について、既往の研究事例のレビューや岩芯・地下水試料を用いた室内調査などにより基礎情報を取得する。また、「体系的なナチュラルアナログ研究手法」として、システム解析手法を導入し、それぞれの調査・試験・解析の効果的な連携を図る。

### (1)東濃ウラン鉱床の長期保存に関わる地質環境に関する研究

既存試錐孔の岩芯試料、および超深地層研究所計画で掘削される新規試錐孔 (Goto et al., 2002) の岩芯 (堆積岩)・地下水試料を用い、鉱物共生や酸化還元状態に関する調査を実施し、地球化学的環境の長期的変遷について解析する。また、岩芯 (とくに花崗岩) 試料を用いた調査・分析により、ウラン鉱床の長期保存の解析に必要となるウランの起源に関する情報を取得する。

一方、地質環境の変遷とその影響に関しては、既往の研究事例のレビューや岩芯試料を用いた調査 (たとえば、アパタイト (U-Th)/He クロノメータによる隆起速度の推定) などをとおして、とくに地形変化 (隆起・沈降) や月吉断層の活動に関する定量的情報を取得する。

### (2)ウラン系列核種の移行・遅延に及ぼす影響要因に関する研究

既存試錐孔の岩芯試料、および超深地層研究所計画で掘削される新規試錐孔 (Goto et al., 2002) の岩芯 (堆積岩)・地下水試料を用いた調査・分析および熱力学的解析により、ウラン系列核種の移行・遅延挙動やウランの存在形態に関する定量的情報を取得する。また、微生物による化学的緩衝能力などに関する調査・研究も行う。

### (3)体系的なナチュラルアナログ研究手法の整備

性能評価研究に適用されるシステム解析手法を本研究に導入する (Stenhouse et al., 2002)。具体的には、東濃ウラン鉱床の長期保存について FEP (特質、事象、プロセス) を抽出し、それらの関連性を詳細に記述することにより、本研究の枠組みを構築するとともに、各調査・試験・解析項目の重要度 (優先順位) を明確にする。

### 3 岩盤の力学的安定性に関する試験研究

#### 3.1 背景と目標

一般に岩盤内の応力状態は不均一性を有することが知られているが、応力状態の不均一性を考慮し客観的に場の三次元応力分布を評価できる調査・解析技術は十分には確立されていない。また、坑道掘削によって力学的な塑性領域が生じるようなケースでの物性変化の程度やその範囲に関する知見も得られておらず、塑性領域内の物性変化という観点での既存の調査・研究事例もほとんどない。このような技術や知見は、一般的な三次元地下構造物の設計施工および空洞の安定性を確保する上で必要不可欠であるとともに、その成果は幌延深地層研究計画などにおける坑道の物理的安定性に関する研究にも反映されるものである。さらに、空洞周辺岩盤の長期的な挙動を定量的に予測可能な解析手法が現存しないため、その手法の開発は掘削影響領域を含む空洞周辺岩盤の長期安定性を評価するために必要である。

本試験研究では、①場の応力分布の不均一性を客観的に評価する手法の開発を目的とした「応力状態に関する調査研究」、②岩盤の長期挙動を評価する手法の開発を目的とした「長期挙動に関する研究」、③岩盤の塑性化に伴う物性変化とその範囲を評価する手法の開発を目的とした「双設坑道安定性評価試験」の3項目の調査試験研究を実施する。

#### 3.2 2001年度までの試験研究成果の概要

本試験研究は、図2に示すように、東濃鉱山敷地内およびその周辺部において掘削した試錐孔などを利用して実施してきた。以下に、2001年度までに実施した本試験研究の成果（サイクル機構，2001a，2001b，2002b）の概要を示す。

##### (1) 応力状態に関する調査研究

5本の試錐孔における水圧破碎法、および岩芯試料を利用したAE（Acoustic Emission）法による応力測定を実施し、東濃鉱山周辺に分布する堆積岩および基盤花崗岩中の初期応力状態を三次元的に把握したほか、応力分布の不均一性について考察した。これを受け、場の三次元応力分布を解析的に推定する手法について、3年間にわたる研究計画を策定するとともに、既存の応力解析手法などに関する情報収集および解析用データセットの作成を実施し、それに基づき解析手法を選定した。

##### (2) 長期挙動に関する研究

クリープ変形挙動については、田下凝灰岩の長期クリープ試験を継続するとともに、北延NATM坑道から採取した細粒砂岩のクリープ特性を室内試験により把握した。また、低応力条件下におけるクリープ変形挙動評価のための基礎情報の取得および構成式の開発を行うとともに、クリープひずみ速度の温度依存性を把握した。さらに、空圧式クリープ試験装置の適用性を確認した。応力緩和については、載荷方向に平行に進展する微小割れ目とその主要因であることを実験的・解析的に確認した。解析手法については、コンプライアンス可変型構成式および分子動力学-均質化法統合解析手

法の高度化に関する検討を継続した。一方、現場調査では、北延 NATM 坑道および第 2 立坑における変形挙動ならびに孔壁崩壊現象の長期観測を継続するとともに、東濃鉱山における約 10 年間の長期変形挙動データを取りまとめた。

### (3) 双設坑道安定性評価試験

北延 NATM 坑道において新規坑道掘削を想定した予備解析を実施し、その結果に基づき試験計画を策定した。また、概略設計に基づく予測解析により、新規坑道掘削による坑道周辺岩盤の物性変化や範囲を評価した。

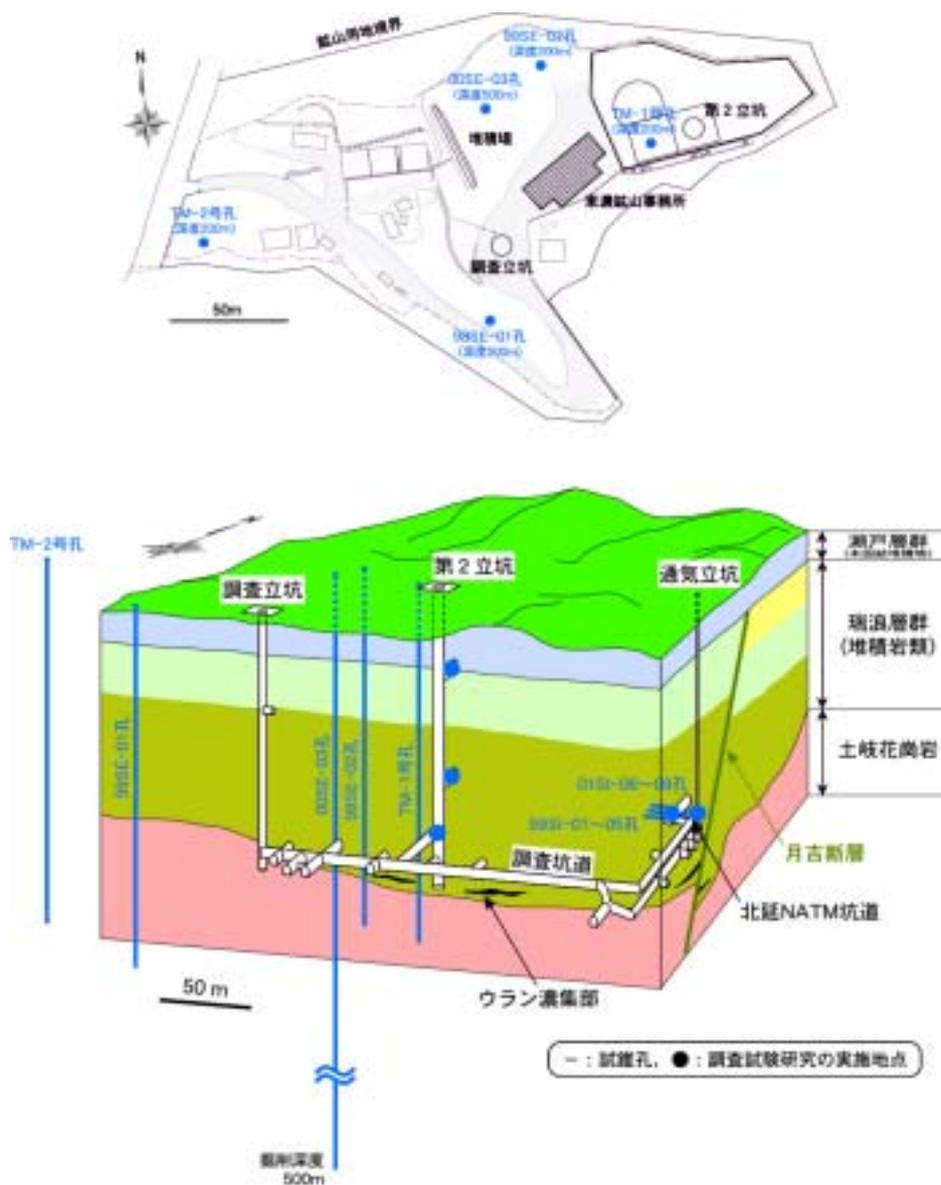


図2 東濃鉱山における「岩盤の力学的安定性に関する試験研究」の実施領域

### 3.3 2002 年度の試験研究計画

2002 年度は、場の三次元的応力分布を解析的に評価する手法、および堆積岩の長期挙動を表現できる解析手法の開発を目的とした以下の調査・研究を実施するとともに、双設坑道安定性評価試験開始に向けた準備作業などを行う。

#### (1) 応力状態に関する調査研究

2001 年度に作成した解析用データセットと選定した解析手法を用い、逆解析的に三次元応力場を推定する。また、解析対象領域の三次元応力場に及ぼす地質構造の影響を評価するとともに、地質構造を考慮した三次元応力場の同定手法について検討し、解析モデル・手法の妥当性を評価する。なお、本調査研究は 2003 年度までの 3 年計画で実施中である。

#### (2) 長期挙動に関する研究

田下凝灰岩の長期クリープ試験を継続し、長期挙動に関する基礎情報を蓄積するとともに、花崗岩などへの適用を目的とした油圧式多連クリープ試験装置の適用試験を継続する。また、北延 NATM 坑道周辺から採取した岩石試料に対してコンプライアンス可変型構成式のパラメータを決定するとともに、その構成式を組み込んだ二次元粘弾性モデルによる、北延 NATM 坑道を対象としたクリープ変形解析を実施する。その解析結果と長期観測結果との比較により、構成式の適用性について検討する。さらに、岩盤の長期変形挙動に関する試験・解析手法の開発、ならびに北延 NATM 坑道および第 2 立坑における変形挙動の長期観測を継続する。

孔壁崩壊現象については、小孔径試錐孔のオーバーコアリングおよび孔径検層などを実施し、大孔径試錐孔で認められた破壊現象の支配要因（孔径や岩盤の不均質性）を把握する。

#### (3) 双設坑道安定性評価試験

2002 年度は、2003 年度の試験開始に向け、詳細な実施計画の策定などの準備作業を行う。

## 4 坑道周辺の地質環境に関する調査研究

### 4.1 背景と目標

坑道周辺の地質環境に関しては、これまでに東濃鉦山において立坑および水平坑道掘削影響試験などを実施し、力学的・水理的・地球化学的な特性や現象について、個別に評価を行ってきた。また、釜石鉦山において実施した原位置試験では、結晶質岩を対象に、坑道周辺における地質環境の特性や状態変化に関する知見を取得するとともに、その調査技術を開発した（サイクル機構，1999b）。その結果、個々の特性や現象についての情報は蓄積されてきたものの、堆積岩については、坑道掘削により生じる地質環境の水理的・地球化学的な状態変化と岩盤物性（弾性係数や透水係数など）の変化との関係や力学-水理-地球化学連成現象に関しては把握されていない。

坑道周辺における地質環境の状態変化や連成現象の概念モデルや調査・評価技術などは、幌延深地層研究計画における坑道からの調査・研究の具体化などに反映されるものである。

本調査研究では、「坑道周辺水理特性調査」ならびに「坑道周辺地球化学特性調査」を実施し、坑道周辺における地質環境の状態変化や連成現象を明らかにするとともに、その概念モデルを構築することにより、坑道周辺における地質環境特性の総合的な調査・評価手法を開発する。

### 4.2 2001年度までの調査研究成果の概要

本調査研究は、図3に示すように、おもに東濃鉦山坑道内および坑道から掘削した試錐孔において実施してきた。以下に、2001年度までに実施した本調査研究の成果（サイクル機構，2001a，2001b，2002b）の概要を示す。

#### (1) 坑道周辺水理特性調査

北延 NATM 坑道の 3 本の試錐孔において、多点式パッカーを用いた計測システムによる間隙水圧観測を継続し、坑道周辺岩盤の三次元的な間隙水圧分布を概ね把握した。一方、不飽和領域の計測手法に関する研究では、岩盤の含水量分計測における TDR（Time Domain Reflectometry）法の有効性、および多孔質媒体内の水分移動解析における既存の飽和・不飽和浸透流解析コードの適用可能性を確認した。また、TDR 法に基づき不飽和領域における含水量計測が可能な装置（パッカー式プローブ）を製作し、第2立坑第2計測坑道においてその現場適用性を確認した。

#### (2) 坑道周辺地球化学特性調査

北延坑道内のウラン濃集部、第2立坑第2計測坑道、下盤連絡坑道において、坑道壁面からの主要化学成分（とくに鉄およびウラン系列核種）や微生物の深度分布を調査し、これまでに酸化還元状態が坑道壁面から 1m 程度で大きく変化する事例が確認された。また、北延 NATM 坑道において地下水水質の長期観測を継続した。

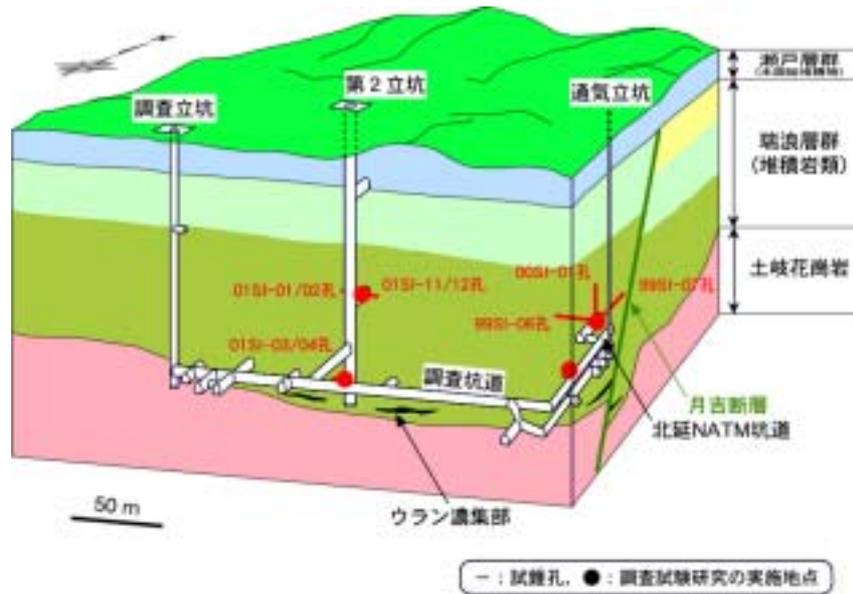


図3 東濃鉱山における「坑道周辺の地質環境に関する調査研究」の実施領域

#### 4.3 2002 年度の調査研究計画

2002 年度は、坑道周辺岩盤中における三次元的な水理学的・地球化学的状态の変化領域の把握、および定量的情報の取得を目的とした以下の調査・研究を実施するとともに、不飽和領域の計測手法の高度化を図る。

##### (1)坑道周辺水理特性調査

長期間隙水圧観測では、北延 NATM 坑道における間隙水圧観測を継続し、長期的な水圧変動を把握する。また、既存の地質学的・水理学的データと合わせ、北延 NATM 坑道周辺における水理学的状態変化についての検討を行う。

不飽和領域の計測手法に関する研究では、現場で測定した比誘電率と岩盤の含水量との相関が不明確であるため、室内試験をとおしてその相関を把握する。具体的には、含水量を調整した多種の岩石試料を用い、パッカー式プローブによる比誘電率と定量的な含水量測定を実施する。

##### (2)坑道周辺地球化学特性調査

第2立坑第2計測坑道ならびに下盤連絡坑道から採取した堆積岩試料の化学分析を継続し、主要化学成分（とくに鉄およびウラン系列核種）や微生物の分布について坑道壁面からの深度プロファイルを取得する。また、北延 NATM 坑道における、地下水の物理化学パラメータの長期観測を継続する。さらに、取得した情報に基づき、坑道周辺岩盤中における地球化学的状态の変化に関する概念モデルの構築について、予察的な検討を行う。

5 2002年度の調査試験研究のスケジュール

2.3、3.3、4.3にそれぞれ述べた2002年度に実施する調査試験研究のスケジュールを表1に示す。

表1 2002年度調査試験研究スケジュール

調査試験研究項目	2002年												2003年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月			
1 ナチュラルアナログ研究	計画		現場調査						室内調査・解析			取りまとめ			
2 岩盤の力学的安定性に関する試験研究															
(1) 応力状態に関する調査研究	解析												取りまとめ		
(2) 長期挙動に関する研究	解析・モデル開発、現場/解析・モデル開発												取りまとめ		
	長期観測/室内試験														
(3) 双設坑道安定性評価試験													準備		
3 坑道周辺の地質環境に関する調査研究															
(1) 坑道周辺水理特性調査	長期観測/データ取りまとめ														
	室内試験												取りまとめ		
(2) 坑道周辺地球化学特性調査	長期観測/データ取りまとめ														
	モデル化検討												評価		

## 参考文献

Goto,J., Ikeda,K., Kumazaki,N., Mukai,K., Iwatsuki,T. and Hama,K. (2002) : Working programme for shallow borehole investigations. JNC Technical Report. (in press)

核燃料サイクル開発機構 (1999a) : 東濃鉦山における調査試験研究基本計画書. サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-006.

核燃料サイクル開発機構 (1999b) : 釜石原位置試験総括報告書. サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-001.

核燃料サイクル開発機構 (2001a) : 東濃鉦山における調査試験研究年度報告書 (平成11年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-006.

核燃料サイクル開発機構 (2001b) : 東濃鉦山における調査試験研究年度報告書 (2000年度). サイクル機構技術資料, JNC TN7400 2001-007.

核燃料サイクル開発機構 (2002a) : 東濃鉦山における調査試験研究基本計画 (2002年4月). サイクル機構技術資料 (準備中).

核燃料サイクル開発機構 (2002b) : 東濃鉦山における調査試験研究年度報告書 (2001年度). サイクル機構技術資料 (印刷中).

Stenhouse,M.J., Arthur,R., Ota,K., Iwatsuki,T., Metcalfe,R and Takase,H. (2002) : Application of the systems analysis approach to a natural analogue project. Scientific Basis for Nuclear Waste Management XXV. (in press)